

ソーラーシステムと蓄熱

Solar System and Thermal Storage

吉田 尚弘*
Naohiro Yoshida

要 約

地球規模の環境汚染の問題が大きく取り上げられている現在、その対策の1つとして自然エネルギーの利用が考えられる。自然エネルギーの中で特に太陽エネルギーを熱として利用しようとするならば、太陽エネルギーの特性から蓄熱することを考えないわけにはいかない。日本では、土壌を蓄熱体の一部として利用しているソーラーハウスの例をいくつか見ることができる。今回はそのようなソーラーハウスの測定データから、地中蓄熱の有効性について検討する。測定の結果、地中に蓄熱することは十分に可能であること、またヒートポンプを用いることで蓄熱した太陽熱及び土壌そのものが持つ熱をも回収できることが確認された。さらに地中蓄熱を計画する場合には、地表からの熱損失を防ぐことが重要であることも確認された。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 太陽熱利用と蓄熱技術
- §3. 地中蓄熱の実施例
- §4. 地中蓄熱の有効性
- §5. おわりに

§1. はじめに

エネルギーに関わる問題といえば、古くは2度にわたるオイルショック、大気汚染そして最近の酸性雨、地球温暖化現象と枚挙にいとまがない。特に酸性雨、地球温暖化の問題はもはや一国で対処できるものではなく、地球規模で考えていかなければならない。その解決策の一つは化石燃料の使用を減らすことである。しかし、いまだ増え続けているエネルギー消費の実体を見ると、これが容易でないことは明白である。そこで化石燃料の代替

エネルギーとして原子力エネルギー、自然エネルギー等の利用が考えられるが、これらもまた、その使用により環境の汚染等が生じることがあってはならない。

自然エネルギーの中でクリーンと言われている太陽エネルギーを熱として有効に利用しようとする、蓄熱技術が必要になってくる。また、太陽熱利用にあたってはイニシャルコストが大きな問題の一つである。そこで、ローコストの太陽熱蓄熱方法としてどこでも無償で得ることができる土壌を蓄熱体として利用する方法を取り上げ、その実施例からその有効性について検討する。

§2. 太陽熱利用と蓄熱技術

熱をある媒体の内部エネルギーとして蓄えることを蓄熱と言う。熱はコンクリートの壁や床などの固体、冷水や温水などの液体、さらには蒸気や氷として相変化を利用するなどさまざまな形で蓄えることができる。

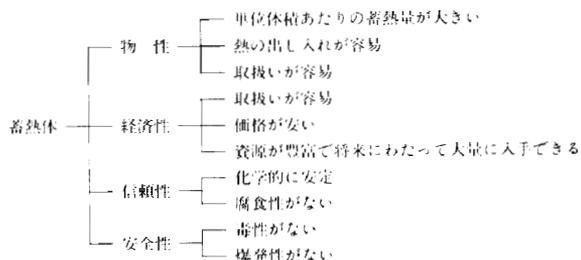
一般の冷暖房システムにおいて蓄熱を行なう目的は、主としてボイラや冷凍機などの設備容量を減少させて設

*技術研究所建築技術課

Table 1 蓄熱の方法



Table 2 蓄熱体に望まれる特性



備費を節約すること、深夜電力の利用を可能にすること、あるいは部分負荷運転を避けて運転効率を向上させ維持費を安くすることにある。蓄熱の方法には Table 1 に示すような方法がある。また、蓄熱媒体に望まれる特性は Table 2 のようなものである。我が国における冷暖房の蓄熱では、水を蓄熱媒体とした床下二重スラブ利用の蓄熱水槽を持った方式がほとんどである。

太陽熱利用における蓄熱の目的は、太陽エネルギーの不確実性、間欠性を補うため晴天日に集熱した熱を冷暖房、給湯に必要とするまで貯蔵することにある。よって太陽熱利用では蓄熱は必須条件である。

ソーラーシステムにおいて、太陽熱を捕え目的に合わせて取り出すとき、どこに、どんな形で、どのくらい蓄えるかが重要である。すなわち、集熱した太陽熱を、冷暖房、給湯など熱負荷に最も適した使い方をするために、蓄熱の量と質と場所が適正に選定されていなければならない。蓄熱の量と質は蓄熱体の種類と熱容量によって制御される。太陽熱の蓄熱方式としては蓄熱体の種類から次の3つに大別される。

(1) 躯体蓄熱方式

これは、建物の躯体(床・壁・天井)に直接蓄熱する方式である。集熱と放熱は自然の成行きに任せることが多い。単純さと耐久性の上で優れているが、プランニングは、一般に南面開口部とのバランスをとる必要があるため、複雑化する。蓄熱体は集熱、放熱ともに適した仕上げ(黒色に塗装するなど)が要求される。

(2) 容器蓄熱方式

これは、建物内に配置した金属製、プラスチック製も

しくはコンクリート製容器の中の蓄熱材に蓄熱する方式である。蓄熱材としては水、石、土、砂などがあり、新しいものとしては潜熱蓄熱材入りのカプセルなどもある。

(3) 地中蓄熱方式

建物を支持する自然地盤そのものを蓄熱部位に利用する方式で比較的低温(10~20°C)の蓄熱に適する。土壌は断熱性と蓄熱性を合わせ持った材料で、しかも無償であり経済的である。プランニング上は建物の下部に熱源を配置するため床暖房との組合せが容易にできる。地中蓄熱方式の種類と特徴を Table 3 に示す。

§ 3. 地中蓄熱の実施例

今回、熱核方式の蓄熱槽を持つソーラーハウスについてその性能を測定・評価する機会を得た。測定データを基に主として蓄熱効果の解析を行なう。

3-1 ソーラーハウスの概要

この住宅は1968年(昭和43年)に東京都国分寺市に建てられた温水床暖房システムを持つ木造2階建て住宅であり、後年ソーラーハウス化されたものである。ソーラーハウスの仕様を Table 4 に、外観を Fig. 1 に示す。

このソーラーハウスの特徴を以下に列記する。

1. ハイブリッド(アクティブシステムとパッシブシステムを併わせ持つ)ソーラーハウス
2. 蓄熱壁、蓄熱床付サンルームと開口部増大による南面4室の熱環境の改善
3. 半地下スペースの居室としての利用(土壌による断熱効果)
4. 建築デザインを損わぬよう設置された東西屋根面の平板型集熱器とバルコニーの真空管型集熱器
5. 長短期蓄熱機能を持つ熱核方式複合型蓄熱槽(高、中、低温槽)の採用
6. 給湯用予熱コイル付木製中間タンク
7. カスケード式複合放熱システムの採用

Fig. 2はこのソーラーハウスの集熱および蓄熱システムの概念図である。ポンプは集熱系統、蓄熱系統に共用しており、集熱器出口水温と中間タンク内水温の差温により発停を制御している。集熱器出口水温が中間タンク内水温よりも高い場合にポンプの運転は行なわれる。集熱系統と蓄熱系統の切り換えは三方弁を用いて行う。切り換えの制御は中間タンク内水温を検出し、設定温度(任意)以上になった時にのみ地中蓄熱槽に温水が供給される。地中蓄熱槽内は温度レベルにより3つの蓄熱槽に分かれている。温度レベル差を持って蓄熱することによ

Table 3 地中蓄熱方式の種類と特徴

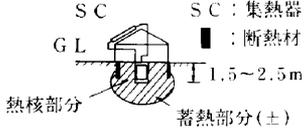
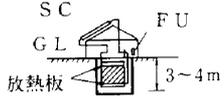
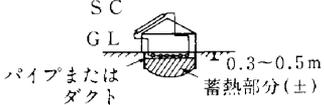
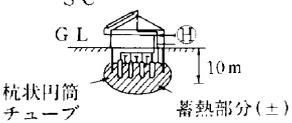
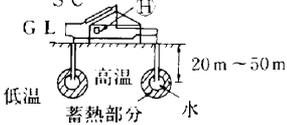
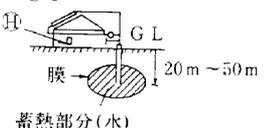
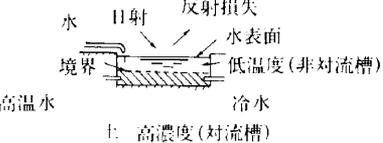
	システム	特徴	実例
<p>A 熱核方式</p>		<p>水タンク、砕石などからなる小さな熱核をなす部分と周囲の土壌との組合せて、長期蓄熱と同時に短期的にも熱の出し入れができるよう工夫されている。熱核部分は、蓄熱体兼放熱体でもあり、室内の温度バランスによって蓄熱、放熱が自然に行われる熱呼吸式、直接でも空気式ヒートポンプでも暖房可能。</p>	<p>小西SH No.1, 2, 3 藤沢SH, 大竹SH, 藤木SH, 田辺SH, 金子SH, 井関SH 白浜自然エネルギーハウス</p>
<p>B ソーラーファン方式</p>		<p>地中に埋込んだ放熱板（上部、下部）によって長期蓄熱の後、ゆっくり床上に放熱される（床暖房方式）と同時に短期的には、ファンコイルユニット（FU）によって取り出す。直後または、間接に放出す。</p>	<p>曾根SH 新井SH</p>
<p>C 床蓄熱方式</p>		<p>コンクリートなど熱容量の大きな床の内部にパイプまたはダクトを埋込み、これに1～3日程度の太陽熱を蓄え、床暖房を行う。</p>	<p>菊池SH 千葉SH 相良SH</p>
<p>D 杭状円筒チューブ方式</p>		<p>杭状をした円筒チューブを深く打ち込み、これを蓄熱槽兼土への熱交換器として使用する。ヒートポンプ（H）による暖房。</p>	
<p>E 方式 伝熱パイプ埋込</p>		<p>長尺伝熱パイプを地中0.5～3.0mまで埋設し、土へ伝熱させ長期蓄熱させるもので、熱媒は水、室内への放熱は直接床暖房と、水空気ヒートポンプ（H）を用いた熱回収とで行う。埋設パイプはうず巻きやジグザグ配管など試みられている。</p>	<p>大林組技研</p>
<p>F 循環深井戸方式</p>		<p>くみ上げ井と還元井とによって、水量のバランスをとりながらヒートポンプ（H）によって暖冷房を行う。</p>	
<p>G 貯蔵膜をもつ井</p>		<p>深井戸内に予め、膜を張り、貯液温水が外部に漏れないようにして蓄熱し、ヒートポンプ（H）によって暖房を行う。半永久的な膜は不可能。</p>	
<p>H 方式 ソーラーポンド</p>		<p>プールの下部に高濃度溶液（塩水など）上部に低濃度の水を配し、境界面をもたせることにより、太陽熱を直接プール底部に集熱させ、上部断熱効果によって下部の蓄熱効果をあげている。</p>	

Table 4 ソーラーハウスの仕様

所在地	東京都国分寺市新町	北緯35°41'	東経139°27'	
建築データ	構造	木造二階建て		
	建築面積	110.40㎡		
	延床面積	156.10㎡ (1階95.0㎡, 2階43.2㎡, 地階17.9㎡)		
家族構成	夫婦, 子供3人			
集熱器	平板型	集熱面積	23.28㎡ (1.94㎡×12台)	
		方位	東に対して南へ12°	
		傾斜角	東西ともに20°	
	真空管型	集熱媒体	水	
		集熱面積	2.80㎡ (1.40㎡×2台)	
		方位	南に対して西へ12°	
傾斜角	50°			
	集熱媒体	水		
蓄熱槽	木製中間タンク	540(W)×896(L)×565(H)		
	給湯用熱交換コイル(ローフィンチューブ)	25.4φ×10m内蔵		
地中蓄熱槽	コンクリート枠	7.0m(W)×2.4m(L)×2.0m(H)		
	高温槽	水槽(SUS)	500φ×800(H) 140%×2本	
		熱交換コイル(ローフィンチューブ)	25.4φ×10m内蔵	
		潜熱蓄熱材100個充填(西側のみ)		
	中温槽	砕石槽	1.16m(W)×0.97m(L)×2.00m(H) 1.63㎡×2槽	
		熱交換コイル(架橋ポリエチレン)	15.0φ×15m内蔵	
低温槽	水槽(SUS)	460φ×1300(H) 200%×4本		
	外部砕石	東1.17㎡ 西1.63㎡		
	通風ダクト内蔵			
蓄熱体	水, 土壌, 砕石	4.43㎡		
	潜熱蓄熱材(塩化カルシウム6水塩)	0.0144㎡		
暖房方式	ファンによる温風直接送風, ヒートポンプによる暖房, ヒートパイプによる暖房, 床暖房(直接伝熱, パネルユニット)			
冷房方式	ヒートポンプによる冷房			
給湯方式	熱交換コイルにより浴室へ給湯			
補助熱源	灯油ボイラー	給湯能力	28,000Kcal/時	

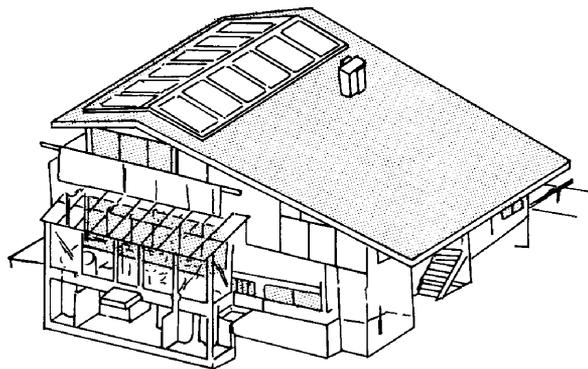


Fig.1 ソーラーハウスの外観

り長期及び短期の蓄熱を同時に行なうことを可能にしている。Fig. 3は蓄熱された太陽熱の回収方法の概念を示したものである。

蓄熱槽は核となる高温槽を温度レベルの低くなる中温槽, 低温槽で順次包み込むように構成されており, 最終

的には土壌に囲まれている。最も高温となる高温槽内の温水は床暖房パネルへ直接供給され暖房用熱源として使用される。中温槽内の暖かい空気はファンにより直接室内へ送られる。低温槽内に設置されたヒートポンプ室外機は槽内の空気と熱交換を行ない, 低温槽及び土壌から蓄熱された太陽熱を回収する。

3-2 蓄熱運転の実測結果

太陽熱利用システムの性能を表わす指標として集熱効率がある。集熱効率は集熱部に入射する全日射量に対してどの程度の熱量を捕捉することができたのかをその割合で示したものである。Table 5に昭和62年度, 63年度の集熱効率等を示す。62年度と比較し63年度の集熱効率が向上しているのは, 集熱器面に陰を落していた建物南面の樹木の伐採を行なったためである。

集熱効率は期間的な変動が見られ, 日射量, 外気温の低下に伴って集熱効率も低下する傾向がある。この他集熱効率を左右する因子としては集熱面積や蓄熱槽容量など

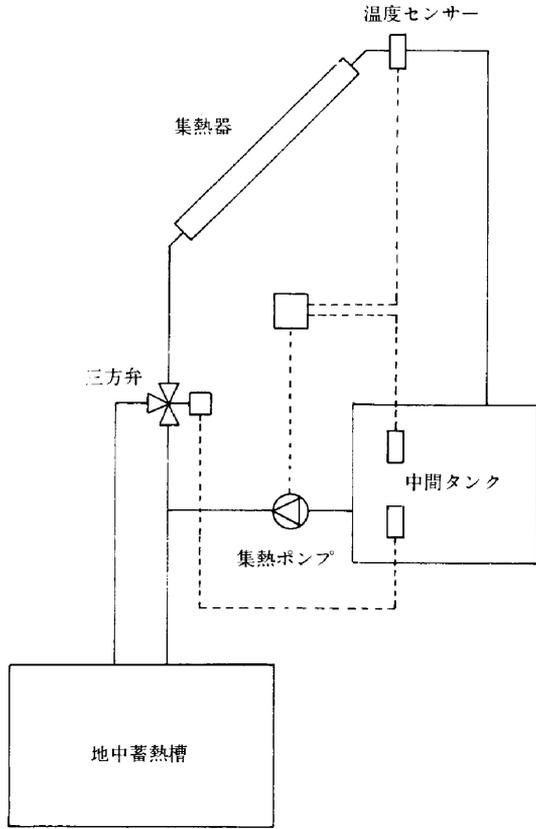


Fig.2 集蓄熱システム概念図

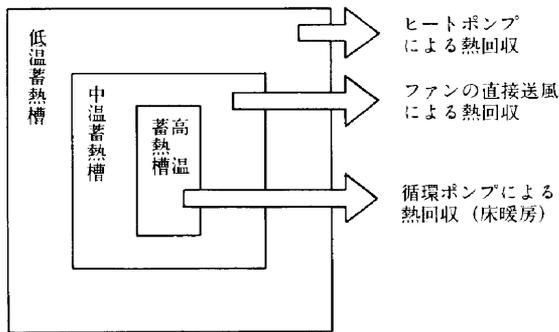


Fig.3 熱回収システム概念図

ハード的なものと、当システムの集熱ポンプを制御する差温を何度にとるかといったようなソフト的なものがある。

Fig. 4 に蓄熱期間における蓄熱槽内各部の温度変動を示す。昭和63年度は集熱量の増加により蓄熱が効果的に行なわれており、高温槽、中温槽、低温槽の温度差を保っている様子がわかる。また、土壤への蓄熱状況を蓄熱槽を中心として方位別に見たものが Fig.5 である。ここで言う土壤蓄熱量とは蓄熱槽の熱的影響を受けていな

Table 5 蓄熱期間の集熱効率

		10月	11月	12月
昭和62年度	日射量 (Mcal)	772	561	783
	集熱量 (Mcal)	102	52	94
	集熱効率 (%)	13.3	9.2	11.8
	蓄熱量 (Mcal)	63	33	66
昭和63年度	日射量 (Mcal)	1,710	1,235	1,257
	集熱量 (Mcal)	379	250	250
	集熱効率 (%)	22.1	20.1	19.1
	蓄熱量 (Mcal)	172	102	149

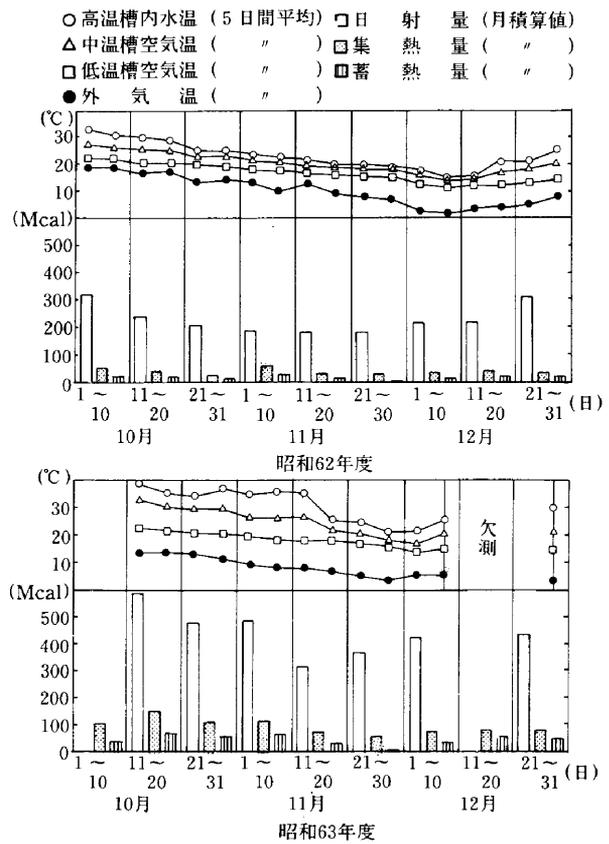


Fig.4 蓄熱運転測定結果

い一般土壤温を基準とした蓄熱槽周囲の土壤(深さ1 m から2 m) 1 m²の蓄熱量を言う。方位別に蓄熱量をみると蓄熱を開始した9月の時点ではほとんど差はみられない。月を追う毎に(蓄熱を進める毎に)方位別蓄熱量に表われる差は顕著となる。蓄熱槽北側の土壤蓄熱量が他と比して多くなるのは上部の建物により地表からの放熱が抑えられていることと、蓄熱槽の中で最も高温になる高温槽が北側に配置されていることによる。

土壤蓄熱においては熱損失を少しでも減らすために地

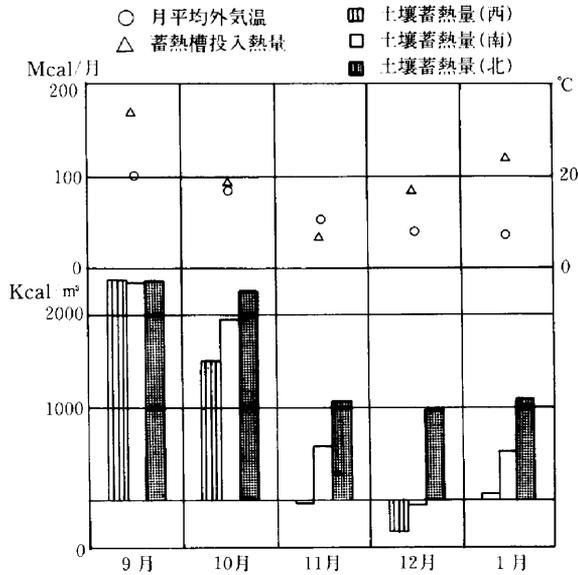


Fig.5 土壤への蓄熱状況

Table 6 暖房システムの運転方法

暖房対象室	暖房方法	運 転 条 件
書 庫 (半地下)	床 暖 房 ヒートポンプ	供給温水温度30℃以上で運転開始。運転後は床表面温度と供給温水温度の差が3℃未満となった時点で停止。対象室中央部の平均ふく射温度18℃未満で運転。平均ふく射温度は室温、グローブ温度と気流速度から計算した。
和 室 (1 階)	ファン暖房	送風空気温度が30℃以上で運転。

表面での断熱が重要である。

3-3 暖房運転の実測結果

暖房(熱回収)システムは Table 6 に示すような方法で運転した。

床暖房による回収熱量は天候に大きく左右され、Fig. 6 に示すように日々変動する。これは床暖房の熱源として蓄熱槽の熱核である高温槽を使用しているためであり、高温槽内水温はその日の集熱量(天候)に大きく依存している。集熱時に床暖房を行なった場合、回収される熱は高温槽に蓄えられた熱とともに随時集熱した熱の合計となり、その結果、蓄熱期間と比べ集熱効率は向上した(Table 7を参照)。

ヒートポンプは低温槽及び土壤に蓄えられた熱を回収する。低温槽は水槽、砕石、空気から構成されており、土壤も含めて考えれば、大きな熱容量を持っていることになる。このためヒートポンプによる回収熱量は短期的

○日射量(日積算値) □HP蒸発器回収熱量(日積算値) △書庫平均室温
 □蓄熱量(日積算値) ■床暖房回収熱量(日積算値) ●平均外気温
 (注3) 回収率は各暖房システムの回収熱量をその日の蓄熱量で除したものである。

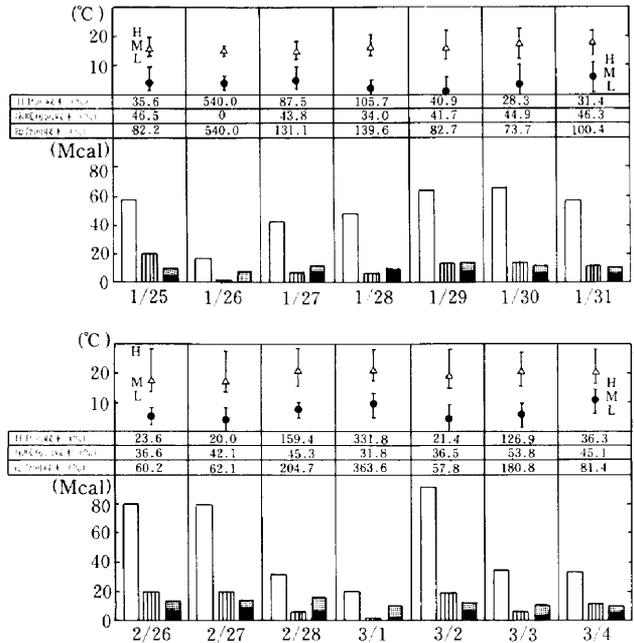


Fig.6 書庫暖房運転の測定結果

Table 7 暖房期間の集熱量・回収熱量

	日射量 (Mcal)	集熱量(Mcal)と 集熱効率(%)	蓄熱量 (Mcal)	回収熱量(Mcal) と回収率(%)
1月21日 ~1月30日	473.5	118.6 (25.0)	82.8	88.6 (107.0)
2月26日 ~3月7日	423.1	122.0 (28.8)	85.7	94.9 (110.7)

※()内は率を表す

な集熱量の増減の影響を受けにくい。Fig. 6 が示すように曇天日など集熱量が少ない日でもヒートポンプによる回収熱量は安定している。さらにヒートポンプの室外機を蓄熱槽内に設置することでCOPの向上も図ることができた。

ファンによる直接送風暖房の熱源である中温槽空気温が運転条件(槽内空気温30℃以上で運転開始)を充した日は3月に入り3時間だけであった。より早い時期により早い時間からファン暖房を行なうには、高温槽から中温槽空気への熱交換を促進する等の方法で槽内空気温を現状より上げる必要がある。

§ 4. 地中蓄熱の有効性

地中蓄熱を太陽熱暖房システムに利用する場合、無限の土壤の断熱性と蓄熱性をどのようにうまく利用するか

が重要な点となる。冬の日射がほとんど期待できない地方では主に長期蓄熱としての断熱性を利用する。よって熱損失を相対的に小さくすれば、利用率は高まる。熱損失を小さくする簡単な方法としては蓄熱槽容量を大きくして相対的に表面積を減らすことが考えられる。冬の日射も利用できる地域では、大きすぎる蓄熱槽は槽内の温度上昇を阻害する。

わが国での地中蓄熱のソーラーハウスへの利用は、熱核方式によるものとソーラーファンテン方式によるものがある。いずれにしても、土壌を蓄熱体として使用する場合、短期的な熱の出し入れの方法を考慮することが必要である。熱核方式である実施例では、短期的蓄熱の役割を果たす水タンクおよび砕石から成る熱核部分と長期的蓄熱の役割を果たす周囲の土壌部分とを組み合わせることによって解決している。具体的には熱核となる高温槽、中温槽からは、温水及び温風として熱を短期的に取り出す。長期にわたり土壌へ蓄熱された太陽熱はヒートポンプにより徐々に回収する。

§ 5. おわりに

実際のソーラーハウスの測定データを通して、地中蓄熱について検討した。測定データから、土壌に蓄熱し、また、その熱をヒートポンプを用いて回収できることが確認された。地中蓄熱の検討を進めていく上では、運転方法によってもソーラーハウスの性能は変わることから、最適運転方法を探るには比較実験も必要となる。しかし実験自体が長期(少なくとも半年間)にわたること、1年に1つのパターンの実験しか行なえないことなどから考えると多くの比較実験を行なうことは現実的ではない。比較実験の代用としてシミュレーションによる検討も必要となってくる。また、経済性の検討も重要な事項である。

最後に、実施例についての測定及びデータ解析は工学院大学中島研究室との共同研究の成果の一部であることを付け加える。

参考文献

- 1) 日本太陽エネルギー学会：太陽エネルギー利用ハンドブック，日本太陽エネルギー学会，1985.
- 2) 中島康孝，大橋一正：ソーラーハウス設計の実際，(株)オーム社，1980.
- 3) 田中俊六：太陽熱冷暖房システム，(株)オーム社，1977.
- 4) (株)ソーラーシステム振興協会：太陽熱給湯暖冷房システムの計画入門，(株)ソーラーシステム振興協会，

1980.

- 5) (社)空気調和・衛生工学会：蓄熱式空調システム，(社)空気調和・衛生工学会，1982.